



**REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LA APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS MODERNAS  
E INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS**

Estefania Duque Galvis

Monografía presentada para optar al título de Especialista en Medio Ambiente y Geoinformática

Asesor

Juan Jose Garcia Duque, Especialista (Esp) en Medio Ambiente y Geonformática

Universidad de Antioquia  
Corporación Académica Ambiental  
Especialización en Medio Ambiente y Geoinformática  
Medellín, Antioquia, Colombia

2022

<b>Cita</b>	(Duque Galvis, 2022)
<b>Referencia</b>	Duque Galvis. E (2022). <i>Revisión bibliográfica de la aplicación de tecnologías modernas e inteligencia artificial en la gestión de los residuos sólidos</i> [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
<b>Estilo APA 7 (2020)</b>	



Especialización en Medio Ambiente y Geoinformática, Cohorte XVII.



Biblioteca Carlos Gaviria Díaz

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes

**Decano/Director:** Jesús Francisco Vergas Bonilla

**Jefe departamento:** Diana Catalina Rodríguez Loaiza

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## Tabla de contenido

Resumen .....	6
Abstract .....	7
1. Introducción.....	8
2. Objetivos.....	10
3. Marco teórico.....	11
4.1    Gestión Residuos Solidos.....	11
4.2    Tecnologías Modernas Gestión Residuos Sólidos .....	12
4.3    Inteligencia Artificial .....	13
5. Metodología.....	15
Definición del alcance de la revisión .....	16
6. Resultados.....	17
7. Conclusiones.....	27
Referencias .....	28

## Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Etapas de la metodología.....	15
<b>Tabla 2.</b> Pronóstico de la generación de residuos sólidos municipales utilizando enfoques de modelado de inteligencia artificial.....	20
<b>Tabla 3</b> Diversas TIC y su aplicación en la gestión de los residuos sólidos .....	21
<b>Tabla 4.</b> Caracterización de los residuos sólidos en el municipio en el año 2020.....	22
<b>Tabla 5.</b> Puntos críticos por coordenadas.....	24

## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Ciclo gestión integral de residuos sólidos.....	11
<b>Figura 2.</b> Practicas sostenibles de gestión de los residuos sólidos.....	17
<b>Figura 3</b> Mapa puntos críticos municipio de Bello.....	23

## **Resumen**

El presente trabajo tiene como objetivo realizar una revisión bibliográfica de la aplicabilidad de tecnologías modernas e inteligencia artificial en la gestión de los residuos nivel mundial, que busca resolver las problemáticas ambientales que enfrenta la sociedad con respecto a la planificación territorial, dicha revisión se hará sistemáticamente con el fin identificar y analizar los estudios previos y escenarios futuros, para luego generar un análisis de la aplicación de las herramientas mencionadas por los autores para mejorar la gestión de los residuos sólidos en el municipio de Bello ante una problemática de puntos críticos.

*Palabras clave:* Tecnologías Modernas, Inteligencia Artificial, Sistemas de información Geográfica, Residuos sólidos

### **Abstract**

The objective of this work is to carry out a bibliographical review of the applicability of modern technologies and artificial intelligence in waste management worldwide that seeks to solve the environmental problems that society faces with respect to territorial planning, said review will be done systematically with in order to identify and analyze the previous studies and future scenarios, to then generate an analysis of the application of the tools mentioned by the authors to improve the management of solid waste in the municipality of Bello in the face of a problem of critical points

*Keywords:* Modern Technologies, Artificial Intelligence, Geographic Information Systems, Solid Waste

## 1 Introducción

La civilización humana a lo largo de la historia ha tenido como principal fuente de sustento la explotación de los recursos naturales y estos, no están susceptibles de la generación de los residuos provenientes de la extracción, transformación y uso de los mismos, el último siglo se ha caracterizado por hiperconsumo, es decir, los seres humanos están consumiendo por encima de las necesidades básicas y elementales (Tinell, 2015), lo cual aumenta los impactos negativos ambientales sobre el territorio y su vez genera nuevos desafíos en la sostenibilidad, esto sumando a un crecimiento urbano no planificado en consecuencia al aumento población de las últimas décadas y en contexto latinoamericano, se carecen de estrategias y acceso a la recolección de los residuos sólidos (Naciones Unidas, 2018),

Por consiguiente, la gestión inadecuada de los residuos sólidos está generando conflictos de sostenibilidad en el territorio como el aumento de la temperatura, contaminación de los océanos y fuentes hídricas, perjudicando además los ecosistemas y la regeneración de estos (Banco Mundial, 2018). Se prevé la posibilidad de una mayor generación esperada de residuos sólidos y líquidos municipales. No obstante, *“el problema se está volviendo más severo en los países en desarrollo donde la urbanización, la mala planificación y la falta de recursos adecuados dan como resultado malas prácticas de gestión de residuos sólidos”*

Finalmente con relación a lo anterior, en el presente trabajo se pretende revisar bibliográficamente en bases de datos, partiendo de los términos Tecnologías Modernas e Inteligencia Artificial (IA), Sistemas de Información Geográfica y Residuos sólidos, con el fin de conocer cómo se ha desarrollado la producción científica a través de los artículos incluidos en las bases de datos, sobre la aplicación de los instrumentos de los sistemas modernos y/o inteligencia artificial en la gestión ambiental de los residuos sólidos. *“Actualmente, muchos países de todo el mundo están obteniendo beneficios significativos al utilizar la IA para diseñar e implementar sus hojas de ruta, procesos y estrategias de gestión de residuos. La discusión sobre la adopción de IA está ganando más en los últimos tiempos”*, (King et al, 2021), teniendo como apoyo los sistemas de información geográfica, *“es un sistema de hardware y software informático diseñado para recopilar, administrar, analizar y mostrar datos espacialmente referenciados e integrarlos con otra información de la base de datos”* (Wallis, 1988),



Finalmente informar de las acciones que permitan organizar y vincular la planificación de los residuos de la nación con la base de datos y la conciencia nacional, la visualización y el enfoque geoespaciales son muy importantes para una gestión ambiental territorial sostenible y generar próximas discusiones de su aplicabilidad en Colombia comprendiendo los problemas, sistematizando, analizando a través de una recolección de datos de las localidades. Según lo anterior, surge la pregunta para la revisión bibliográfica de la presente investigación, ¿de qué manera se están aplicando las tecnologías modernas e inteligencia artificial en la gestión de los residuos sólidos?, además se indagará la aplicación de herramientas expuesta por los autores en el municipio de Bello, considerada la segunda más importante del departamento de Antioquia y que actualmente tiene una problemática de puntos críticos en comunas dónde no tiene acceso el carro recolector para una gestión integral de los residuos sólido que permita mitigar y prevenir los mismos.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

Analizar la aplicabilidad de las tecnologías modernas e inteligencia artificial en la gestión de los residuos sólidos.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Realizar una revisión bibliográfica en las bases de datos de las investigaciones realizadas en la aplicación de tecnologías modernas e inteligencia artificial en la gestión de residuos sólidos.
- Analizar la información de las investigaciones realizadas en tecnologías modernas e inteligencia artificial en la gestión de residuos sólidos.
- Analizar alternativas para el uso de tecnologías modernas e inteligencia artificial en la gestión de los residuos sólidos de los puntos críticos del municipio de Bello.

#### 4. Marco teórico

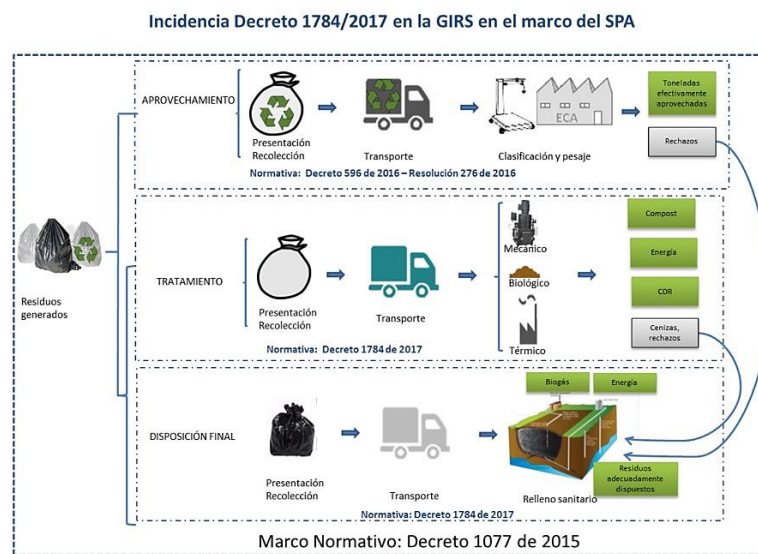
El aumento del consumo asociado a la contaminación, son dos aspectos que desde la última década se ha buscado estudiar con profundidad ya que potencialmente, representa un riesgo para la sostenibilidad ambiental, en relación del aumento de la población mundial y los efectos del cambio climático, actualmente uno de los desafíos crecientes es la gestión de los residuos sólidos (GIRS), por lo cual *“el ordenamiento e incidencia en la planificación de los residuos sólidos domiciliarios se ha realizado con perspectivas desde lo ambiental, lo económico y lo social”* (Urbina y Zúñiga, 2016).

##### 4.1 Gestión Residuos Solidos

La gestión de los residuos sólidos (GRI) es el proceso de cobertura y planeación de estos, aplicando una serie de técnicas, tecnologías desde su generación hasta su disposición final con el fin de lograr los objetivos del desarrollo sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto Invernadero a partir de la reducción, tratamiento y/o aprovechamiento (UNICEN, s.f.).

**Figura 1.**

*Ciclo gestión integral de residuos sólidos*



Nota: Adaptado por (Ministerio de Vivienda, s.f)

De acuerdo con el decreto 2981 de 2013 por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo, define la gestión integral de residuos como: *“Conjunto de actividades encaminadas a reducir la generación de residuos, realizar aprovechamiento basado en sus características, volumen procedencia con el fin de generar valoración energética, aprovechamiento o comercialización, incluye el tratamiento y disposición final de residuos no aprovechables”*

Por consiguiente, la GIR busca la reducción de los residuos sólidos y considerada como principal forma para solucionar la problemática hasta el punto de evitar producirlo, sin embargo, tanto en términos ambientales y económicos, el reciclaje, reutilización y recuperación enfocados a una eliminación menos tradicional como la incorporación de la conversión de la energía para la generación de este, termina siendo aún más eficiente con respecto a los modelos convencionales. (Jueru & Dmitry, 2021)

#### **4.2 Tecnologías Modernas Gestión Residuos Sólidos**

Para la gestión eficiente de los residuos sólidos en los últimos años han surgido tecnologías innovadoras para la eliminación adecuada de estos (Schnell et al, 2020), desde las primeras técnicas utilizadas, se menciona el relleno sanitario, dicha tecnología surgió en la primera parte del siglo XX y se define como una tecnología que confina deshecho en un área determinada con el fin de compactarla y que finalmente reduzca su volumen (Torri, 2017)

Sin embargo, en las últimas décadas se han mejorado los procesos y trayendo tecnologías aún más innovadoras, tal como menciona el autor (Xiao et al., 2020), *“nuevas técnicas de relleno sanitario, conceptos de contenedores de basura inteligentes han revolucionado el proceso de gestión de residuos”*. Además (Anirban et tal, 20) menciona que *“la idea de obtener energía de la basura desechada ha resuelto hasta cierto punto el problema de la deficiencia energética: el concepto de biorrefinerías y la reprocesamiento biológica han revolucionado el proceso de gestión de residuos”*, finalmente se podría deducir que existen nuevas oportunidades para mejorar la eficiencia en la gestión de los residuos sólidos

### 4.3 Inteligencia Artificial

La inteligencia artificial (IA) ha revolucionado la industria tecnológica a nivel mundial, de acuerdo con (ORACLE, s.f) *“se refiere a sistemas o máquinas que imitan la inteligencia humana para realizar tareas y pueden mejorar iterativamente a partir de la información que recopilan”*.

En la gestión de los residuos sólidos la inteligencia artificial ha modificado los procesos, dado a que, a través de la accesibilidad a sofisticadas tecnologías e infraestructuras de reciclaje, hoy en día es prioridad para la adopción en un aprovechamiento eficientes desde la calificación y eliminación que finalmente mejorara los métodos para un desarrollo más sostenibles.

De acuerdo con (Wirtz et al., 2019) *“Las máquinas inteligentes automatizadas están reemplazando gradualmente a los métodos tradicionales de clasificación de residuos donde estas máquinas son capaces de realizar múltiples tareas y pueden clasificar toneladas de residuos sólidos vigorosamente. Estas máquinas impulsadas por IA son extremadamente autónomas con respecto a sus programas de visión por computadora y diferencian fácilmente entre varias categorías de desechos sólidos”*.

Además de la incorporación de los sistemas de información geográfica con respecto a la recolección de los residuos sólidos generados, podría generar unas mejoras en el ciclo con una serie de datos que darán una mejor administración de los datos (et al., 2010 ; Sudha et al., 2009 , 2010 , Sudha et al., 2011 2010 ; Balachandar et al., 2008 ).

*“Mediante métodos y software especializados aspectos como: la ubicación, la distancia, las interacciones espaciales. Los tamaños, las formas, las densidades de los elementos. Por una parte, está la capacidad predictiva, que nos permite saber con antelación lo que va a ocurrir; por otra, la capacidad prescriptiva”* (Geograma, 2021)

En consiguiente, como herramienta de planificación, se precisa la integración de tecnologías moderna, inteligencia artificial en la gestión de residuos y los sistemas de información de Información Geográfica, *“tienen gran potencial de investigación para la regulación de la gestión de residuos sólidos para aumentar la calidad y el rendimiento de su aprovechamiento”*. (Deus et al, 2019).

La implementación de un sistema óptimo puede contribuir a múltiples Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) relacionados con la mejora de la ciudad inteligente sostenible a través de la protección del medio ambiente, la protección de la salud pública y la reducción de la pobreza”. que ayuda a diferentes enfoques adaptados a los grupos de interés, recopilando su información específica y mejorando en gran medida el desempeño de la planificación ambiental y la gestión urbana, precisión y eficiencia. (Yu et al, 2021).

## 5 Metodología

Para lograr los objetivos planteados se utilizó la metodología de revisión bibliografía, la cual es idónea a la naturaleza del presente trabajo ya que tiene como objetivo de resumir y analizar la información hallada en una búsqueda, utilizando diferentes bases de datos con operadores booleanos “OR” y “AND” y palabras claves como: Tecnología Modernas, Inteligencia Artificial y Residuos Sólidos, posteriormente se organizó utilizando la herramienta Zotero, que de acuerdo con diferentes autores sistematiza de la información y permite analizarla detalladamente.

La presente Metodología se dividió en tres etapas:

**Tabla 1.**

*Etapas de la metodología*

<b>Etapa 1</b>	<b>Recolección de la información en bases de datos</b>
	Se realizó una revisión bibliográfica en centros de documentación y bases de datos, como ScienceDirect, Scopus, Springer, Redalyc y SciELO de la biblioteca de la Universidad de Antioquia, utilizando palabras clave, Inteligencia Artificial, Tecnologías Modernas y Residuos sólidos.
<b>Etapa 2</b>	<b>Análisis de información</b>
	Se categorizó y analizó la información hallada en las diferentes bases de datos correspondientes a la temática del presente trabajo, útil, es decir, aquella que aplicativa a partir de una gran cantidad de artículos revisados.
<b>Etapa 3</b>	<b>Evaluación de la aplicación a partir del análisis</b>
	A partir de las aplicaciones, se tomó un escenario real, teniendo como suministro principal la información brindada por la empresa de Aseo Bello Aseo S.A E.S.P, problematizando los puntos críticos con el fin de proponer una posible solución considerando los casos aplicativos previamente analizados

Fuente: Elaboración propia

### **Definición del alcance de la revisión**

El presente trabajo es de carácter cualitativo, en el cual se expondrá diferentes aplicaciones de tecnologías modernas e Inteligencia en la gestión de los residuos sólidos en los últimos 10 años a nivel mundial, explorando en diferentes bases de datos artículos correspondientes a este rango.



## 6 Resultados

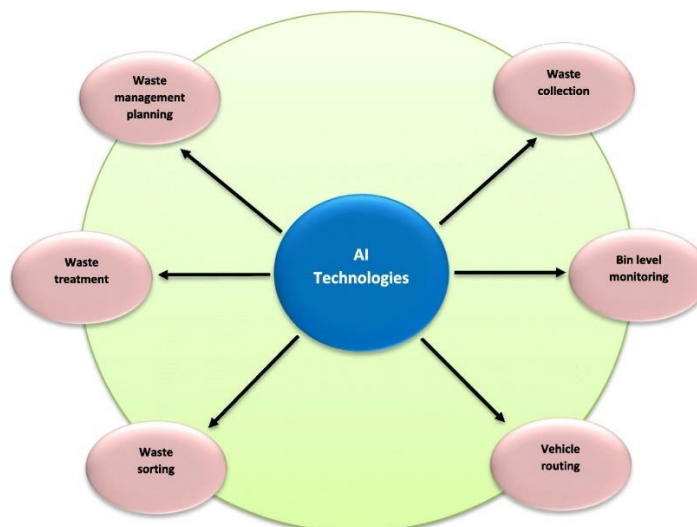
### 6.1 Aplicación de Tecnologías Modernas e Inteligencia Artificial en la Gestión de los Residuos Sólidos

Uno de los mayores problemas que presentan los centros poblados es la gestión de los residuos sólidos y esto tienden a agravarse, según el Banco Mundial, se estima que la generación de estos aumente un 70% para el año 2025, por lo cual surgen preguntas orientadas a prevenir y/o mitigar estos escenarios y una de las solución está en incorporar en procesos convencionales la inteligencia artificial, a continuación se aplica la IA en las tecnologías modernas en la gestión de residuos sólidos en diferentes escenarios generación, clasificación, recolección, enrutamiento del carro recolector, tratamiento, eliminación y planificación de gestión de residuos.

De acuerdo con el (Andeobu et al, 2021) durante todo el ciclo en la gestión de los residuos sólidos el uso de las tecnologías debe de estar articuladas con el fin de que todo el proceso sea eficiente, tal cual se muestra en la figura 2.

**Figura 2.**

*Practicas sostenibles de gestión de los residuos sólidos*



Fuente: (Andeobu et al, 2021)

En diferentes investigaciones los autores mencionan que actualmente se vienen desarrollando tecnologías que aprovechan la IA, por ejemplo: Austria, Alemania, Nueva Zelanda, Estados Unidos, Reino Unido, Japón, Singapur, Suiza, Corea del Sur y Canadá; para optimizar las oportunidades de uso, eficiencia y recuperación de recursos a lo largo del ciclo de la gestión de los residuos sólidos, haciendo énfasis en cada una de las etapas, desde la generación de residuos, clasificación, recolección, tratamiento, valorización energética, eliminación hasta planificación de la gestión de residuos (Soni et al., 2019).

(Raju y Thiagarajan, 2021) *“Con big data e IA, se pueden sintetizar análisis avanzados para proporcionar una comprensión más profunda y revelar las relaciones subyacentes dentro de ellos. Se pueden utilizar tecnologías como el aprendizaje automático (ML) para entrenar algoritmos en el reconocimiento de imágenes para automatizar algunos de los procesos de segregación de residuos”*

Además, otras de las aplicaciones que evidencia es el uso de contenedores inteligentes, el cual lo data en un trabajo de Dugdhe et al. (2016), utiliza la tecnología IoT mediante la integración de sensores dentro de los camiones y contenedores para recopilar información en tiempo real sobre el estado de cada contenedor, incluida su ubicación, el nivel de desechos y las emisiones de gases nocivos. *“A medida que pasa el tiempo, los datos históricos se pueden recopilar y utilizar para optimizar aún más el proceso de recolección y pueden proporcionar estimaciones mejoradas y nuevos conocimientos sobre los patrones en la generación de desechos sólidos para futuras investigaciones”*.

Otras de las formas en que además se aplica la IA, es a través de la automatización inteligente en la recolección y separación de los residuos sólidos, cambiando la obra de mano por sistemas a través de Machine Learning (ML), la presente, es una disciplina científica del ámbito de la IA que crea sistemas que aprenden automáticamente, (Hulyalkar et al., 2018). *“Se propuso un sistema que aprovechaba el procesamiento de imágenes y ML que podía identificar y clasificar con precisión los productos de desecho en diversos materiales, como metal, plástico, esto automatiza el proceso que no requiere trabajo humano para ser funcional”*.

En otro trabajo, Farzana et al. (2020) *“entrenaron su computadora para reconocer y clasificar los desechos en categorías biodegradables y no biodegradables con una precisión de*

*hasta el 84 %. La segregación de residuos es una tarea importante, ya que la energía útil puede extraerse y redirigirse a la economía”.*

Desde la inteligencia artificial la robótica también es un componente que estudio tanto en el diseño como la construcción de máquinas, tal cual nos lo plantea (Sudha et al., 2016). Una segregación automática de residuos a través de la robótica, *“El robot se instaló en una planta de tratamiento de residuos a gran escala en Barcelona. El robot consta de una serie de sensores, brazos robóticos y una cámara junto con un detector de metales sobre la cinta transportadora. La cámara funciona como los ojos del sistema para reconocer e identificar los tipos de desechos mientras que los sensores y los brazos robóticos clasifican físicamente los desechos. Una vez finalizada la 1ª fase de formación, el sistema fue capaz de reconocer y clasificar hasta 13 materiales diferentes como metales ferrosos y no ferrosos, cartón, madera, papel, plásticos mixtos, residuos verdes, etc. En el transcurso de 4 meses de capacitación, se registró la precisión de la máquina y se promedió una pureza del 90% para todos los materiales”.*

Por otro lado, los autores (Abbas & Hanandeh, 2016) menciona con mayor profundidad la aplicación de la inteligencia artificial a través de modelos inteligentes, ya que la proyección precisa de las cantidades de residuos sólidos municipales e indagan de los importante que es inicia desde una planificación exitosa y eficiente en la gestión de los residuos sólidos.

*“Las estimaciones futuras de la generación de residuos sólidos municipales sirven como base para el desarrollo de las infraestructuras de gestión de residuos existentes, así como para su posterior desarrollo y optimización sostenibles. Los pronósticos imprecisos pueden dar lugar a problemas generalizados, como una infraestructura de eliminación de desechos inadecuada o excesiva (recolección, incineración, vertido o procesamiento)”* (Buenrostro et al., 2001)

Ahora bien, (Abbas & Hanandeh, 2016) dialogan sobre las aplicaciones de los siguientes modelos inteligentes: máquina de vectores de soporte (SVM), el sistema de inferencia neurodifuso adaptativo (ANFIS) y la red neuronal artificial (ANN) y K vecinos más cercanos (, el cual se expondrá en la tabla 2.

**Tabla 2.**

*Pronóstico de la generación de residuos sólidos municipales utilizando enfoques de modelado de inteligencia artificial*

**Algoritmo  
Modelamiento  
inteligente**

**Red neuronal artificial (ANN)** sistemas de procesamiento de información celular diseñados y desarrollados sobre la base de la noción percibida del cerebro humano y su sistema neuronal para pronosticar la generación de RSU a corto, mediano y largo plazo. Utilizando una serie de variables que cubrían factores sociodemográficos, económicos, geográficos y relacionados con los residuos, el porcentaje de población urbana, los años de educación, el número de bibliotecas y el número de indigentes fueron los factores más importantes que afectaron la generación de residuos en Chile.

**Los sistemas de inferencia neurodifusos adaptativos (ANFIS)** Es una técnica de modelado basada en datos bien conocida que combina ANN y lógica difusa. ANFIS se compone de dos partes, antecedente y conclusión, que están conectadas entre sí por reglas difusas basadas en la forma de la red sugirieron que ANFIS es un modelo más confiable que ANN para pronosticar el impacto agregado de la tendencia económica, los cambios demográficos y el reciclaje en la generación de desechos sólidos.

**La máquina de vectores de soporte (SVM)** El modelo de red neuronal busca minimizar el error de clasificación errónea o la desviación de la solución correcta de los datos de entrenamiento, este, se utilizó para pronosticar la generación semanal de RSU en la ciudad de Teherán, Irán y pudo predecir la generación de RSU a corto plazo con una precisión razonable.

**K-vecinos más cercanos (KNN)** aplicación de este modelo a la predicción de series temporales en condiciones de regresión ponderada localmente no paramétrica s. Por lo tanto, si un patrón anterior puede identificarse como similar al comportamiento actual de la serie temporal, el comportamiento posterior del patrón anterior puede proporcionar información valiosa para predecir el comportamiento en el futuro inmediato, hasta el momento, no se ha hecho ningún intento de evaluar la capacidad de kNN para pronosticar la generación de RSU.

Fuente: (Abbas & Hanandeh, 2016)

Entre otras herramientas utilizadas para mejorar la gestión de los residuos sólidos, se destacan los sistemas basados en tecnologías espaciales, sistemas basados en tecnologías de

identificación y sistemas basados en tecnologías de adquisición de datos, en la tabla de relaciona cada un con respecto a la aplicación data por el autor

**Tabla 3.**

*Diversas TIC y su aplicación en la gestión de los residuos sólidos*

Cuadro

2 Diversas TIC y su aplicación en SWM.

Clasificación TIC	Subclase de TIC	Aplicaciones
Tecnologías espaciales	SIG	Selección del sitio; planificación; administración; Estimación; mejoramiento
	GPS	Optimización de rutas y recolección; seguimiento de vehículos; planificación; Planificación; facturación
	RS	Selección del sitio; evaluación de impacto ambiental; monitoreo de características
Tecnologías de identificación	Código de barras	Reciclaje inteligente; deposito de basura; reducir el espacio de los vertederos; gestión de riesgos
	rfid	Seguimiento de contenedores y conductores; mejoramiento; clasificación y reciclaje
Tecnologías de adquisición de datos	Sensores	Clasificación; mejoramiento; humedad; medición de energía y olores; Planificación
	Imágenes	clasificación de residuos; optimización de rutas y recolección; vigilancia
Tecnologías de comunicación de datos	G/M/GPRS	Comunicación de largo alcance
	ZigBee	comunicación de corto alcance
	Wifi	comunicación de corto alcance
	Bluetooth	comunicación de corto alcance
	VHFR	Comunicación de largo alcance

Fuente: (Yu et al, 2021).

Los sistemas de información geográfica (SIG) es de las tecnologías más frecuentadas para desarrollar sistemas con objetivos como la selección de sitios, optimización de la ruta y programación, también considera la estimación de la generación de los residuos y evaluación de riesgos, actualmente los sistemas de gestión de residuos sólidos basados en GPS se utilizan para realizar el rastreo de los vehículos con las micro y macro rutas de recolección, por otro las que se basan en teledetección (RS), “*puede generar información para seleccionar el punto para la disposición final, características ambientales y finalmente el monitoreo sobre el impacto que se pueden dar en los presente sitios y finalmente entre las tecnologías de identificación, el sistema de gestión de residuos sólidos basado en código de barras se utiliza para implementar el reciclaje inteligente, minimizar los residuos evitables y la evaluación de riesgos*”. (Hannan, et al, 2015)

## 6.2 Análisis de aplicabilidad de tecnologías e inteligencia para el municipio de Bello – Antioquia

Bello es la segunda ciudad más grande del departamento de Antioquia, localizado en la zona norte del Valle de Aburrá y a nivel nacional ocupada el onceavo puesto en Colombia gracias su población, además, se encuentra ubicado en estribaciones de la cordillera Central de los Andes colombianos, a una altura promedio de 1.450 m.s.n.m., con una latitud norte de 6° 21'24", y una longitud oeste de Greenwich de 75° 34'00". Cuenta con un área total de 142,36 km<sup>2</sup>, de los cuales 19,7 km<sup>2</sup> son suelo urbano y 122.66 km<sup>2</sup> son suelo rural con una población total de 491.182 habitantes (Alcaldía de Bello, 2019)

**Tabla 4.**

*Caracterización de los residuos sólidos en el municipio en el año 2020*

<b>Sector</b>	<b>(ton/año)</b>
Recolección domiciliaria	107.385,74
Barrido manual	2.348,46
Barrido mecánico	340,54
Recolección contenerización (Recolección rural)	1.657,19
Recolecciones grandes generadores	5.980,60
Corte de césped	774,07
Poda de arboles	N. A
Escombros	2.150,97
Voluminosos	1.879,35
Aprovechamiento residuos reciclables	21884.1
Aprovechamiento residuos orgánicos	343.9
Total, promedio	144744.92
Porcentaje de residuos aprovechados	15.40%

Fuente: (Bello Aseo S.A E.S.P, 2020)

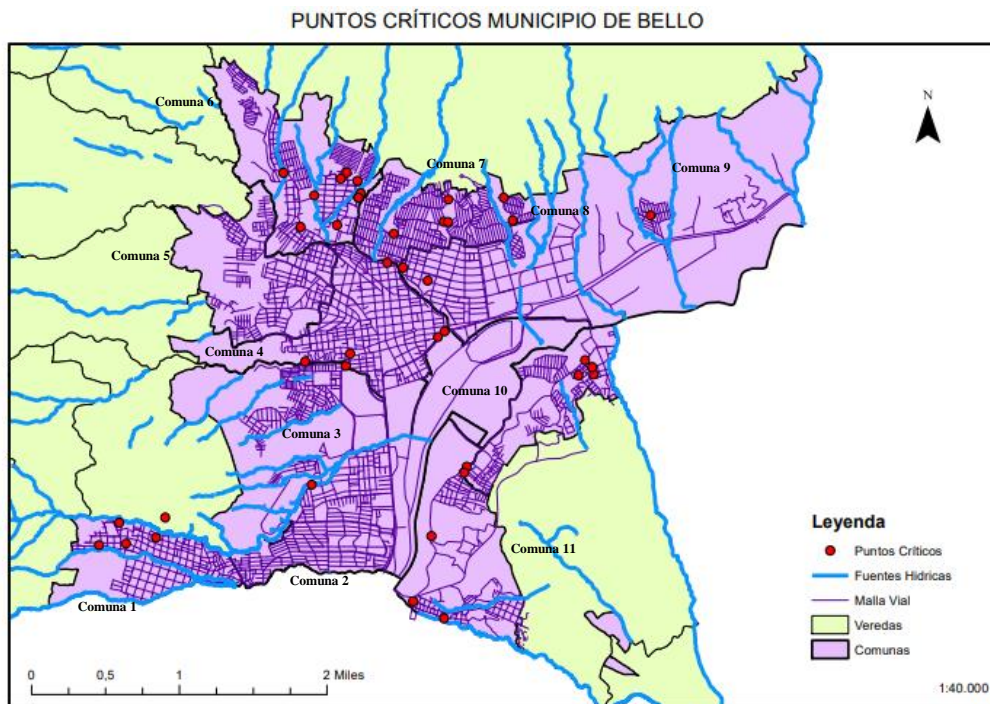
De acuerdo con la información recolectada anteriormente expuesta en el numeral: 6.1 Aplicación de Tecnologías Modernas e Inteligencia Artificial en la Gestión de los Residuos Sólido, se pretender analizar la aplicación de las tecnologías modernas e inteligencia artificial para la gestión de los residuos sólidos del municipio de Bello con respecto a mitigación y prevención de

puntos críticos que de acuerdo con el decreto 2981 de 2013 los define “*como aquellos lugares donde se acumulan residuos sólidos, generando afectación y deterioro sanitario que conlleva la afectación de la limpieza del área, por la generación de malos olores, focos de propagación de vectores, y enfermedades, entre otros*”

En consiguiente, se construyó el siguiente mapa, (figura 3) para visualizar mas a fondo la ubicación de los puntos críticos con respecto a la distribución por comunas, dicho mapa se realizó con la herramienta de ArcGis, combinando capas como: comunas, red hídrica, malla vial, zona rural y se creo una red de puntos críticos, ver (tabla 4)

**Figura 3**

*Mapa puntos críticos municipio de Bello*



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5**
*Puntos críticos por coordenadas*

ObjectID*	Y	X	Shape	CODIGO	DIRECCIÓN	BARRIO
1	6,331386	-75,537467	point	POINT 1	AVE 34 A # 42 G 65	ALCALA
2	6,331289	-75,538972	point	POINT 2	AVE 34 A # 42 G 65	ALCALÁ
3	6,332753	-75,538320	point	POINT 3	DIAGONAL 44 # 33B-19	ALCALÁ
4	6,348474	-75,551719	point	POINT 4	DG 67 CON AV 45B-27	ALTOS DE NIQUIA
5	6,335548	-75,552071	point	POINT 5	DIAGONAL 50 A CON CALLE 46	AUTOPISTA NORTE SUR - SUR NORTE
6	6,334997	-75,552743	point	POINT 6	DIAGONAL 50 A 49 80 AUTOPISTA	AUTOPISTA NORTE SUR - SUR NORTE
7	6,342289	-75,557720	point	POINT 7	CALLE 63 # 47- 28	EL CONGOLO
8	6,345970	-75,562641	point	POINT 8	CALLE 65 CRA 57A	EL DUCADO
9	6,332635	-75,565733	point	POINT 9	CARRERA 58 A 47-22	ESPIRITU SANTO
10	6,315553	-75,553396	point	POINT 10	CARRERA. 45 #26-74	ESTACION MADERA
11	6,332088	-75,537632	point	POINT 11	DIAGONAL 43 CON AVENIDA 33	FONTIDUEÑO
12	6,320590	-75,565100	point	POINT 12	CALLE 32 CRA 58	GRAN AVENIDA
13	6,219440	-75,550538	point	POINT 13	CR 45 # 32D 135	LA GABRIELA
14	6,346922	-75,531898	point	POINT 14	DIAGONAL. 57 #20 - 90	LA NAVARRA
15	6,348649	-75,560566	point	POINT 15	CALLE 69 # 57 03	LOS ALPES
16	6,348629	-75,560471	point	POINT 16	CRA 57 # 69 14	LOS ALPES
17	6,349067	-75,560329	point	POINT 17	CRA 57 A # 70	LOS ALPES
18	6,340514	-75,553743	point	POINT 18	DIAGONAL 56 #N.45-42	NIQUIA
19	6,345116	-75,557077	point	POINT 19	AVENIDAD 44 #60-28	NIQUIA
20	6,346303	-75,552165	point	POINT 20	DG 65 CON AVENIDA 46 <sup>a</sup>	NIQUIA CAMACOL
21	6,346277	-75,551732	point	POINT 21	DG 65 CON AV 45C	NIQUIA CAMACOL
22	6,341823	-75,556178	Point	POINT 22	DIAGONAL 57 No. 47 B 10	NIQUIA LOS ANGELES
23	6,346422	-75,545426	Point	POINT 23	DG 65 CON AV 39	NIQUIA QUITASOL
24	6,348637	-75,546279	Point	POINT 24	AV 38 # 66-40 AL FRENTE	NIQUIA QUITASOL
25	6,348632	-75,560528	Point	POINT 25	CARRERA 57A CALLE 68	PACHELLEY
26	6,351104	-75,561680	Point	POINT 26	CARRERA 58 # 73	PACHELLEY
27	6,350512	-75,562273	Point	POINT 27	CALLE 72 # 58	PACHELLEY



28	6,348859	-75,564869	Point	POINT 28	CALLE 69 # 60 90	PACHELLY
29	6,317380	-75,579470	Point	POINT 29	ENTRADA PRINCIPAL NUEVA JERUSALÉN	PARIS
30	6,316862	-75,583971	Point	POINT 30	CARRERA 80 A # 25 CC – 19	PARIS
31	6,315416	-75,580393	Point	POINT 31	CALLE 25 C # 75 A 02	PARÍS (CAFETAL)
32	6,314832	-75,583309	Point	POINT 32	CALLE 21 # 78 – 60	PARÍS LOS AUCES
33	6,314670	-75,585960	Point	POINT 33	CALLE 20 FF # 81 A - 19	PARIS LOS SAUCES
34	6,345770	-75,566204	Point	POINT 34	CARRERA 63 # 62 B 59	PLAYA RICA
35	6,332211	-75,561795	Point	POINT 35	CARRERA 54 # 47A 05	SANTA ANA
36	6,333409	-75,561370	Point	POINT 36	CALLE 49 # 53- 66	SUAREZ
37	6,350293	-75,560643	Point	POINT 37	CARRERA 66 ENTRADA VEREDA TIERRA ADENTRO	TIERRA ADENTRO
38	6,351064	-75,567914	Point	POINT 38	CALLE 73 #63B- 08	VILLAS DEL SOL
39	6,322341	-75,549913	Point	POINT 39	CALLE 21E CON CARRERA 43	ZAMORA
40	6,307524	-75,552130	point	POINT 40	CALLE 20D#42C26	ZAMORA
41	6,321771	-75,550172	point	POINT 41	CALLE 33 # 43- 121	LA ORQUIDEA
42	6,309191	-75,555167	point	POINT 42	CARRERA 45#20E- 10	ZAMORA

Fuente: Elaboración propia

Para la construcción de la red de puntos, inicialmente la información suministrada por la empresa de aseo Bello Aseo S.A E.S.P, solo contenía la dirección por punto críticos, por lo cual a través de la plataforma de Google Maps, se ingresó la información para obtener los puntos críticos con su respectiva coordenada, dato necesario para la construcción del mapa para ingresarse al ArcGis con un sistema de coordenadas, ver tabla 5.

Las comunas 1, 6 y 7 presentaron mayor cantidad de puntos críticos, esto responde a que principalmente su infraestructura corresponde a callejones, dónde el carro recolector no puede ingresar y disponen en las vías principales, generando focos de contaminación en consecuencia a un crecimiento acelerado con falencias en la planificación, siendo este uno de los principales problemas para la gestión de los residuos solidos mencionado por los autores.

En consiguiente, teniendo como base el rastreo bibliográfico de la etapa 2, se considera analizar las alternativas para la mitigación y prevención de los puntos críticos partiendo desde la aplicación de un modelo inteligente utilizando un algoritmo para la predicción correcta de la generación de los residuos sólidos, tal como: máquina de vectores de soporte (SVM), el sistema de inferencia neurodifuso adaptativo (ANFIS) y la red neuronal artificial (ANN), ya que las futuras estimaciones de los mismos dan base para el desarrollo de cada una de las etapas del ciclo en la gestión de los residuos sólidos, simultáneamente el diseño del enrutamiento con las macro y micro rutas, para la selección de sitios de instalación de contenedores inteligentes, optimización de la ruta y programación, para finalmente instalar contenedores inteligentes con sensores, utilizando IA que informe la cantidad y tipo, que da lugar a mejorar la eficiencia tanto en la disposición final como con el aprovechamiento, se hace la apreciación que estos deben ir acorde a la actual normatividad de separación de residuos, la resolución 2184 de 2019 la cual empezó a regir en el 2021 con el código de colores blanco, negro y verde que facilitará la presentación por parte de los usuarios.

## 7 Conclusiones

Si bien el uso de la IA es un recurso nuevo para la humanidad, actualmente hay muchas preguntas sobre su aplicación en la gestión de los residuos sólidos, lo cual genera grandes retos para la sociedad en resolver las problemáticas ambientales que actualmente se presenta por un sobre consumo que a su vez va ligado con la contaminación de los ecosistemas y salubridad de la humanidad.

Para que estos sistemas y tecnologías mencionadas durante el presente trabajo tengan eficiencia, los autores mencionan que el principal paso para que esto se dé, los gobiernos deben generar mayores procesos investigativos e invertir para implementar formas innovadoras de gestionar los residuos sólidos, ya que sólo se limitan a ejecutar el ciclo de manera convencional.

La planificación territorial es la base para una sostenibilidad ambiental, no obstante, Colombia presenta un crecimiento descontrolado, por lo cual, el contraste con respecto a métodos utilizados en otros países hace que sea un reto mayor, en consiguiente, se hace importante generar desde los espacios de tomas de decisiones a modo de reflexión, de qué manera partiendo del desarrollo actual se puede aplicar la IA en la gestión de los residuos sólidos en el contexto nacional.

Los múltiples beneficios económicos y ambientales generados desde los enfoques tecnológicos se pueden generar desde una adecuada planificación y separación inteligente para el aprovechamiento o disposición final.

Se han demostrado que una planificación inadecuada de la gestión de residuos inicia desde inexistencia de estrategias, proyectos viables y sostenibles, fallas de operación, falta de conocimiento y conciencia apropiados, ausencia de regulación y legislación estrictas e inadecuada financiación de los programas son algunas de las razones clave detrás de un deficiente GIRS

Finalmente, la aplicación de las tecnologías modernas e inteligencia artificial mejora la eficiencia durante todo el ciclo de la gestión de los residuos sólidos y es un reto a nivel mundial continuar con la búsqueda de alternativas para minimizar y prevenir los impactos ambientales que generamos por el consumo.

## Referencias

Alcaldía de Bello (2019) *Revisión Y Actualización Del Plan De Gestión Integral De Residuos Sólidos (2019 – 2027)*

L. Andeobu, S. Wibowo, S. Grandhi, (2022) *Artificial intelligence applications for sustainable solid waste management practices in Australia: A systematic review*, *Science of The Total Environment*, Volume 834, 2022, 155389, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155389>.

M. Abbasi, A. Hanandeh, (2016) *Forecasting municipal solid waste generation using artificial intelligence modelling approaches*, *Waste Management*, Volume 56, 2016, Pages 13-22, ISSN 0956-053X, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.05.018>

G. Anirban. Mukherjee, Uddesh Ramesh Wanjari, Rituraj Chakraborty, Kaviyarasi Renu, Balachandar Vellingiri, Alex George, Sundara Rajan C.R., Abilash Valsala Gopalakrishnan, (2021) *A review on modern and smart technologies for efficient waste disposal and management*, *Journal of Environmental Management*, Volumen 297 ,113347, ISSN 0301-4797, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113347>.

Banco Mundial. (2018) *Banco Mundial, What a Waste: An Updated Look into the Future of Solid Waste Management*. [www.bancomundial.org/es/news/immersive-story/2018/09/20/what-a-waste-an-updated-look-into-the-future-of-solid-waste-management](http://www.bancomundial.org/es/news/immersive-story/2018/09/20/what-a-waste-an-updated-look-into-the-future-of-solid-waste-management).

Bello Aseo S.A E.S.P (2020) *Informe De Caracterización De Los Residuos Sólidos Generados En El Municipio De Bello*

Buenrostro, O., Bocco, G., Vence, J., 2001. *Pronóstico de generación de residuos sólidos urbanos en países en desarrollo – un estudio de caso en México*. J. Gestión de Residuos Aéreo

Dugdhe, S., Shelar, P., Jire, S., Apte, A., 2016. Efficient waste collection system. In: Conference International Convention on the Internet of Things and Applications (IOTA) 2016, pp. 143–147

Farzana, S., Farheen, K., Nagma, K., Zaid, T., 2020. *Residual profiling and analysis using machine learning*

Geograma. (2021). *Geograma Digital Maps*. /www.geograma.com/blog/geo-inteligencia-artificial

Hulyalkar, S., Deshpande, R., Makode, K., Kajale, S., (2018). *Implementación de smartbin mediante redes neuronales convolucionales*

JA Quaye-Ballard , R. An (2010). *Modelado del crecimiento de la población en instalaciones públicas de agua y saneamiento utilizando GIS y estadísticas: un estudio de caso de Aboabo, Ghana* Indio J. Med. ciencia , 64 ( 10 ) , págs. 455 – 467

J.R. Wallis (1988), *The GIS/hydrology interface: the present and the future*, *Environmental Software*, Volume 3, Issue 4, 1988,  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0266983888900305>

Jueru Huang, Dmitry D. Koroteev, (2021) *Artificial intelligence for planning of energy and waste management, Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Volume 47, 2021, 101426, ISSN 2213-1388, <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101426>.

Kan Hua Yu, Yue Zhang, Danni Li, Carlos Enrique Montenegro-Marin, Priyan Malarvizhi Kumar. (2021). *Environmental planning based on reduce, reuse, recycle and recover using artificial intelligence*, *Environmental Impact Assessment Review*, Volume 86, 106492, ISSN 0195-9255, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0195925520306132>

Naciones Unidas. (2018). *Naciones Unidas*. <https://news.un.org/es/story/2018/10/144356>

Ministerio de Vivienda (s.f) *Tratamiento y disposición final*.  
[www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-agua-y-saneamiento-basico/gestion-institucional/gestion-de-residuos-solidos/tratamiento-y-disposicion-final](http://www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-agua-y-saneamiento-basico/gestion-institucional/gestion-de-residuos-solidos/tratamiento-y-disposicion-final)

M.A. Hannan, Md. Abdulla Al Mamun, Aini Hussain, Hassan Basri, R.A. Begum, (2015) *A review on technologies and their usage in solid waste monitoring and management systems: Issues and challenges*, *Waste management*, Volume 43,2015, Pages 509-523, ISSN 0956-053X, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.05.033>.

M. Mohammadi, S.L. Jämsä-Jounela, I. Harjunoski (2019) *Optimal planning of municipal solid waste management systems in an integrated supply chain network* *Comput. Chem. Eng.*, 123 (2019 Apr 6), pp. 155-169

M. Schnell, T. Horst, P. Quicker (2020) *Thermal treatment of sewage sludge in Germany: a review* *J. Environ. Manag.*, 263 (2020), p. 110367, [10.1016/j.jenvman.2020.110367](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110367)

Oracle. (s.f) *¿Qué es la inteligencia artificial?*, ORACLE, [rechttps://www.oracle.com/co/artificial-intelligence/what-is-ai/](https://www.oracle.com/co/artificial-intelligence/what-is-ai/)

Raju, K., Thiagarajan, MD, (2021). *Automatic Segregation and Sorting of Plastic Waste Using Deep Learning Model*.

RM Deus , BS Bezerra , RA Battistelle. (2019) *Indicadores de residuos sólidos y sus implicaciones para la práctica de gestión* *En t. J. Medio Ambiente. ciencia Tecnología* , 16 , págs. 1129 – 1144

S Bindhya , V. Balachandar , S. Sudha , S. Mohana Devi , K. Kandasamy , K. Sasikala (2010) *Evaluación del riesgo citogenético ocupacional, entre trabajadores de gasolineras Toro*. *Reinar. contacto Toxicol.* , 85 ( 2 ) , págs. 121 - 124 , [10.1007/s00128-010-0068-z](https://doi.org/10.1007/s00128-010-0068-z)

S. King , SA Hutchinson , NJ Boxall, (2021) *Tecnologías de reciclaje avanzadas para abordar los*

*desechos plásticos de Australia CSIRO*, Australia

Sudha, S., Vidhyalakshmi, M., Pavithra, K., Sangeetha, K., Swaathi, V., (2016). *An Automatic Classification Method for Environment: Friendly Waste Segregation Using*

Soni, U., Roy, A., Verma, A., Jain, V., 2019. *Pronóstico de la generación de desechos sólidos municipales utilizando modelos de inteligencia artificial: un estudio de caso en la India*. SN Apl. ciencia 1, 162

S. Xiao, H. Dong, Y. Geng, X. Tian, C. Liu, H. Li (2020) *Policy impacts on municipal solid waste management in shanghai: a system dynamics model análisis* J. Clean. Prod., 262, p. 121366

Soni, U., Roy, A., Verma, A., Jain, V., 2019. *Forecasting municipal solid waste generation using artificial intelligence models—a case study in India*. SN Appl. Sci. 1, 162.

Urbina-Reynaldo, M. O., & Zúñiga-Igarza, L. M. (2016). *Metodología para el ordenamiento de los residuos sólidos domiciliarios*. Ciencia en su PC, (1), 15-29.

UNICEN. (s.f.). [//www.fio.unicen.edu.ar/usuario/esantall/q37.0/Clase%206%20-Residuos/GESTION%20INTEGRAL%20DE%20RESIDUOS.pdf](http://www.fio.unicen.edu.ar/usuario/esantall/q37.0/Clase%206%20-Residuos/GESTION%20INTEGRAL%20DE%20RESIDUOS.pdf)

Wirtz, BW, Weyerer, JC, Geyer, C., (2019). *La inteligencia artificial y el sector público: aplicaciones y desafíos*. En t. *Publicación J. Administración*. 42, 596–615.